

GaN基LED在室内环境设计中的应用

□田 媛 蓝方敏 潘 骁 葛 鹏

[摘 要] 随着III族化合物半导体技术的发展,以氮化镓(Gallium Nitride, GaN)为代表的氮化镓及其多元化合物作为发光材料受到人们极大的关注。通过调节III族化合物的组分比例,其发光波长可覆盖整个可见光区域与部分红外及紫外区域,因此,GaN基发光二极管(light emitting diodes, LED)在各个领域有着广阔的应用。LED技术的进步激发了室内环境设计更多新的理念,本文主要介绍GaN基LED在室内环境中应用方面的进展,包括蓝光LED及紫外LED在室内环境中的应用,并分析目前制约其在室内环境应用中的问题。

[关键词] GaN基LED; 蓝光LED; UV LED; 室内环境设计

当前全球能源危机与气候变暖压力日益严峻,使得绿色环保、节能减排的LED具有广阔的发展空间。受益于其能耗低、体积小、寿命长、转换频率快等特点,LED有望为照明系统带来许多全新的功能,极大地改善我们的生活方式与生活质量,应用前景十分广阔。目前,白炽灯正在逐步退出全球照明市场,近一半的传统光源已被LED取代,可实现每年节电约2800亿kW·h。目前LED在生活照明、微显示、植物照明、汽车照明、光通信、紫外LED等不同的领域均获得快速发展。

1 蓝光LED在室内环境设计中的应用

一直以来,科研人员对GaN材料的制备到P-GaN的掺杂等关键技术进行了大量的研究,直到1994年,日本科学家中村修二发明了蓝光LED,这标志着人类照明进入固态照明时代。随着技术的发展,可见光LED已具有较高的外量子效率,GaN基LED获得了较大范围的应用与推广。随着消费水平的提升,人们对室内环境照明的需求逐渐多样化,不仅关注照明的功能性,还关注其品质、个性化需求与装饰风格的匹配等,大体上可将照明分为功能性照明与艺术性照明两大类。

1.1 LED在室内各功能区中的应用

近年来,随着人工智能技术的快速发展,照明需求呈现出样式及功能多样化的态势,半导体照明开始进入“智慧照明”时代。如图1所示,全球照明协会

(Global Lighting Association, GLA)指出,照明技术的发展路线将由传统的高效照明、LED照明转变为智能照明系统、可服务可升级的智能照明系统与“以人为本”照明。

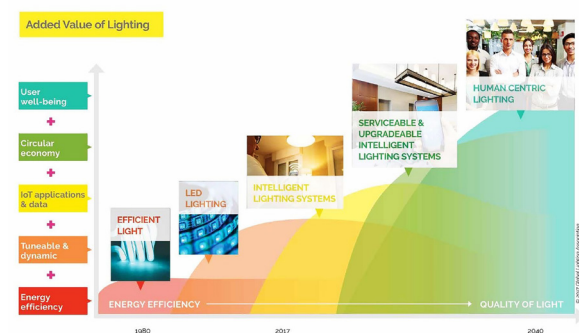


图1 GLA提出的照明技术发展路线^[1]

在室内环境设计的应用上,智能照明不仅关注照明的视觉效应,而且更多地关注照明的非视觉效应。如:室内智能光环境设计与室内家具及家装风格保持和谐自然;照明色度、亮度、时长与生理节律和情绪的关系;关注室内环境的不同功能场所的个性化需求等。居家室内空间功能逐渐层次化,针对不同功能区,需要在协调家庭整体风格的前提下,兼顾不同功能区的个性照明需求。人们在各种光环境下的视觉舒适性除了与人眼视觉有关外,也与人们当时的生理状态、不同场景有关。

[基金项目] 2021年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(编号:2021KY1210)研究成果。

[作者简介] 田 媛,广西生态工程职业技术学院,专任教师,硕士。

蓝方敏(通讯作者),广西生态工程职业技术学院,教务科科长,讲师。

潘 骁,广西生态工程职业技术学院,讲师,硕士。

葛 鹏,广西生态工程职业技术学院,专任教师,硕士。

客厅区域作为日常休闲娱乐、会见客人的公共场所，注重人们情绪价值与视觉舒适性。研究表明，照度与色温被认为是影响视觉舒适性的重要光照参数。当照度为350lx~1000lx时，照度几乎不影响视觉的舒适性。对于休闲娱乐场景来说，与高色温灯光相比，低照度与低色温搭配时更易获得轻松而温暖的感觉，而这种感觉正是人们所需要的，有助于提升视觉舒适性^[2]。室内环境的第二个功能区——书房区域，书房往往用于工作或学习，通常要明亮的冷白光产生更高的视明度，人们在情绪上相对兴奋且有助于提高工作效率。此外，视疲劳与工作、学习环境的关系值得被关注。视疲劳包括各种眼部疲劳感知和视觉功能下降，通常视疲劳在阅读工作30min~60min时发生，且视疲劳与时间呈正相关的依赖关系。研究表明，色温对于视疲劳、舒适性有较为明显的影响，对于学习工作环境而言，灯光色温在6000K左右时，照度变化对于视疲劳和舒适性影响并不明显，兼顾了学习效率与视觉舒适性^[2]。对于厨房照明环境而言，照明设计应更偏向于功能性与安全性方面，软件模拟、现场测试、主观体验评估等实验证明，LED灯具与传统光源灯具相比，二者均需在直接照明与间接照明同时开启情况下才能在功率密度、平均照度等方面满足国家标准，但LED照明方案在绿色节能、寿命等方面优势明显。

1.2 蓝光污染

LED在节能环保、寿命长、体积小、亮度高、能耗低等方面具有独特优势，并呈现出高光效、高亮度、大功率、高光通量的发展趋势，正在改变人们照明方式。然而，LED光源能量集中，在某些方面具有激光的相似特性，其光辐射安全问题不容小觑。尤其在室内环境中，LED作为主要光源，其光辐射对眼睛的危害不可忽视。目前实现白光的LED技术有三种：由红、绿、蓝三基色混合形成白光；紫外LED激发红、绿、蓝三色荧光粉；蓝光LED激发黄色荧光粉。其中采用蓝光LED激发黄色荧光粉形成白光这种技术的白光LED，当其色温较高时在短波蓝光波段有一个较强的峰值，即其色温约为5186K时峰值波长约为440nm。另外一种采用红、绿、蓝三基色混合产生白光技术的白光LED，当其色温约3500K时，在短波蓝光波段峰值波长约470nm。根据国内外报道相关，视网膜蓝光光化学危害也是最主要考虑的类型。《灯和灯系统的光生物安全性》（GB/T 20145—2006）中提出视网膜受到蓝光辐射时潜在的光化学危害，有效作用光谱范围为300nm~700nm，研

究发现，目前现有的LED产品的可见光和红外辐射尚不足以造成明显的视网膜热危害。因此，不考虑视网膜热危害和波长超过780nm的红外辐射危害，而发光波长介于400nm~500nm的视网膜蓝光光化学危害是最主要考虑的类型^[3-5]。图2所示为不同色温下典型的白光LED的发射光谱，可以看到在高色温的白光LED光谱中，蓝光波段占比明显高于低色温白光LED。研究表明，色温高于4000K的白光LED引起的光辐射潜在地影响人体生理节律及危害视网膜健康。尤其是人长期活动在LED作为主光源的室内场所时，建议将LED的色温控制在2700K~3000K之间，同时显色指数高于80。但是，由于低色温LED发光较低，LED照明产品生产厂家通过提高产品的色温兼顾发光效率与显色指数，因此照明市场中普遍出现高色温、高显色指数产品，提高了发生蓝光污染的概率。

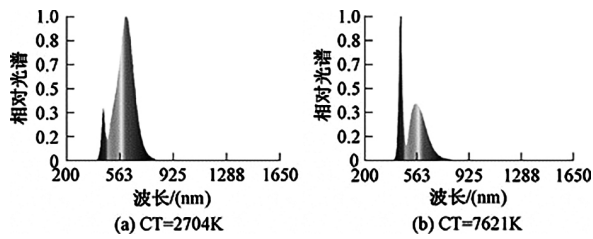


图2 不同色温下典型白光LED的发射光谱^[6]

与此同时，为了扩大GaN基LED的应用领域，需要获得更高的功率和发光效率，除了通过增加LED的器件面积与注入电流提高功率这一传统方法以外，市场上的LED照明产品通常还通过增加二次光学设计元件实现光源的高功率与高亮度，从而带来更窄的光束角与更高的亮度。对于相同功率的LED照明灯具来说，其灯具的光束角越小，中心光强越大，光斑越硬。光束角的减小使得潜在蓝光危害的风险增加，蓝光危害成为制约LED在室内照明环境应用的重要因素之一。

2 紫外LED在室内环境中的应用

基于III族氮化物的紫外发光二极管（Ultra-Violet Light Emitting Diodes, UV LED）以其绿色节能环保、波长短、光谱可调、光子能量高等特点广泛被应用于杀菌、空气净化、环境监测、光固化、固态照明等新兴应用领域。UV LED一般是指发光峰值波长在400nm以下的LED。如图3所示，具体地可将紫外光分为UVA（315nm~400nm）、UVB（280nm~315nm）、UVC（200nm~280nm）三类。根据不同的波段与用途可

分为：UVA，主要在光固化、光催化、医疗、光刻、印刷和验钞等领域的应用广泛；UVB，主要应用于医疗方面的生物分析、DNA分析等；UVC，主要应用在杀菌消毒、空气净化、成分分析等方面。

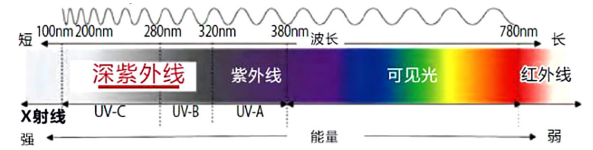


图3 光谱范围

在室内环境中应用最广泛的是杀菌消毒、空气净化等产品。相关的紫外线消毒可分为两种机制，一是利用波长在200nm~300nm的紫外线破坏微生物的DNA或RNA等遗传信息，从而造成微生物群体的死亡，这种机制通常用于水或空气的杀菌应用；二是紫外线作为光催化剂，对TiO₂进行光催化，使其产生强自由基分解空气中的有机污染物，催化产物为对人体无害的二氧化碳与水，并且能同时杀死空气中的细菌和病毒。图4所示为UV LED在室内家居产品中的应用，主要应用在水消杀与空气净化等方面，如智能消毒杀菌鞋柜、空气净化器、水龙头净水器、智能冰箱等。

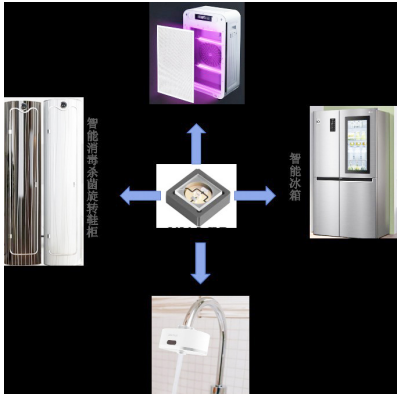


图4 UV LED在家居产品中的应用

2.1 UV LED在空气净化中的应用

近年来，随着人们对生活品质的追求越来越高及现代家居的快速发展，越来越多的新型材料进入家居装修行业，可选择的新型装修材料层出不穷，但随之而来的，是各种室内空气污染的产生。空气污染的来源有由柜子、皮革带来的甲醛污染；由油漆、墙纸带来的苯污染；来源于混凝土抗冻添加剂的氨污染；来源于地板、黏合剂的TVOC（挥发性有机化合物）污染等。其中，甲

醛的污染最值得关注，甲醛具有刺激性气味，人体吸入混有甲醛的空气会引起呼吸道疾病、鼻咽癌、新生儿染色体异常甚至白血病，对人们的身体健康产生较大的危害。目前主流的除甲醛方法为以TiO₂为光触媒介质，在紫外光的照射下，形成具有极强氧化作用的超氧离子自由基、羟基自由基、超氧羟基自由基，不仅能将甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氨、TVOC等有毒有害气体、污染物、臭气、细菌等氧化分解成无毒的二氧化碳与水，与一般抗菌剂相比只有杀菌作用不同，紫外光触媒去除甲醛等有害气体的方法不仅效率高，还可以将细菌遗体及其在体内残留的毒素完全分解，达到彻底消毒杀菌的目的。

2.2 UV LED在消毒杀菌方面的应用

UV LED为固态器件，具有体积小、预热时间短、能够实现瞬间开启等优势，在紫外杀菌消毒领域具有良好的应用前景。短波深紫外线具有高度杀菌能力，有望用于工厂和净水厂等^[7]。目前多采用水银灯作为紫外杀菌灯具，但随着2017年《关于汞的水俣公约》的生效，社会上开始致力于减少使用汞，基于此，深紫外LED在紫外杀菌领域的应用逐渐推广。在透明液体的杀菌消毒方面。紫外线在水消毒方面能实现相对简单直接的净化。研究表明，有效的杀菌波长约在245nm~295nm，最有效杀灭或破坏细菌DNA的峰值波长为265nm^[8]，汞灯的紫外线发光波长是254nm，UV LED的波长一般常用的在275nm且光谱可调，这是UV LED取代传统紫外汞灯的最大驱动力。目前市场上最热门的净水产品——紫外线净水器均融入紫外杀菌技术，将传统的超滤技术与紫外线杀菌技术结合，当一定剂量的紫外光照射到水中的各种细菌、病毒、寄生虫、水藻以及其他病原体后，它们细胞中的DNA结构受到破坏，从而在不使用任何化学药物的情况下实现杀灭细菌、病毒以及其他致病体，解决饮用水细菌指标的超标问题，达到了消毒和净化的目的。与传统的汞灯相比，UV LED在流动水动态杀菌方面具有高效、即时与寿命长等优势，且UV LED本身无毒无害不产生臭氧，不影响水的口感，在水消毒中安全性较高。在室内家居产品应用方面。紫外线杀菌消毒鞋柜也逐渐引入市场，传统智能鞋柜通过利用臭氧的化学特性，对鞋子进行除臭和杀菌防霉护理，新型智能鞋柜的杀菌装置部分采用了UV LED阵列作为消毒杀菌光源，UV LED阵列设置于柜体的内表面或柜门的内表面，发出紫外线的同时对收纳在柜体内的鞋子进行消毒杀菌，减少密闭鞋柜带来的细菌滋生问题引起的健康隐患。智能鞋

柜可以广泛适用于宾馆、酒店、运动场、浴室、医疗卫生行业、食品工厂、制药行业、无尘车间等室内环境。此外,根据2020年2月4日国家卫生健康委办公厅、国家中医药管理局办公室公布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第五版)》指出,病毒对紫外线与热敏感,因此在新型冠状病毒隔离病房中均配置了紫外杀菌灯灭活新型冠状病毒。大量的研究实践发现,剂量为 $1445\text{uJ}/\text{cm}^2$ 的紫外光能实现99.99%杀菌率,紫外LED为新型冠状病毒抗疫做出了贡献。但目前缺乏深紫外LED专用的MOCVD设备,是深紫外LED产业化的一个瓶颈,此外UV LED的发光效率和输出功率都较低都将成为制约UV LED挑战新的应用市场的关键因素。

3 总结

本文讨论了LED技术在室内环境设计中的应用,主要包括GaN基LED在室内环境中不同功能区的照明设计的应用,并讨论了蓝光污染在室内应用中的问题,接着讨论目前LED的研究热点——UV LED及其在室内环境中的应用,并分析了目前技术制约其在室内环境应用中的问题。

(上接第54页)

新方法可解决水泥复合轻质墙板防裂方式单一、效果不好的问题,缩短了安装工期。同时,T型铝合金(塑料)条黏结性好,材料易于采购,制作安装效率高;安装工序既可以选择在墙面刮腻子之前实施,也可以选择墙面刮腻子之后实施,均不影响墙面观感。由于裂缝问题长期困扰着施工和使用单位,很大程度限制了轻质墙板的应用,新方法为水泥复合轻质墙板防裂提供了新的方案,对水泥复合轻质墙板在装配式建筑中的应用也起到推动作用,有较大的社会效益和经济效益。

6 结语

长期以来,水泥复合轻质墙板竖向裂缝问题一直困

[参考文献]

- [1]Global Lighting Association. Strategic Roadmap of the Global Lighting Industry[EB/OL]. (2018-6-11) [2021-06-23].www.globallightingassociation.org.
- [2]王庆.LED室内照明舒适性视觉评价方法及技术的研究[D].杭州:浙江大学,2015.
- [3]郑建,牟同升,何涛.应用于儿童的LED光源蓝光危害评价方法研究[J].中国生物医学工程学报,2016,35(4):487-491.
- [4]赵英,周钢,牟同升.LED光辐射安全标准解读[J].信息技术与标准化,2014(11):20-23.
- [5]Matthes R,Feychting M,Croft R,et al.Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180nm and 1000 μm [J].Health Phys,2013,105(3):271-295.
- [6]赵介军,乔波,过峰.LED蓝光危害研究[J].照明工程学报,2015(1):84-87.
- [7]Meredith L.Reed,Gregory A.Garrett,Anand V.Sampath,et al.Progress in High Efficiency UV Led Research for Reagentless Bioagent Detection and Water Purification[J].International Journal of High Speed Electronics & Systems,2008,18(1):179-185.
- [8]徐保明,熊伟,程乾,等. α -羟基芳酮类光引发剂的合成研究进展[J].化工新型材料,2013,41(8):7-9+18.

扰着轻质墙板材料的推广使用,业主单位不愿意使用这种板材作为墙体材料。作为装配式的墙体材料,水泥复合轻质墙板应该大有可为。通过本施工方法可有效防止水泥复合轻质墙板竖向裂缝的产生、提高墙面美观度,有效解决水泥复合轻质墙板推广应用中的障碍,对水泥复合轻质墙板的推广使用和装配式建筑的发展可以起到推动作用,社会效益和经济效益皆可观。

(本技术方法已获国家实用新型专利,专利号:ZL 2019 2 1975233.8)

[参考文献]

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑轻质条板隔墙技术规范:JGJ/T 157—2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.